جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۲، بهار ۱۳۹۶
وصول مقاله : ۱۳۹۵/۴/۵
تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۱۰/۲۴
صفحات : ۲۰۶ - ۱۹۱

ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد و تعیین اولویت آنها

احمد قندهاری[۱]، دکتر کامران داوری[۲]، دکتر بیژن قهرمان[۳]

چکیده

امروزه تأمین نیازهای آبی برای مصارف مختلف، در بسیاری از نقاط دنیا و به‌ویژه ایران از اساسی‌ترین چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان است. بر این اساس، تأمین آب از نقاط مختلف و اجرای گزینه‌های گوناگون، از راهکارهای جاری برای رفع این چالش در کنار مدیریت غیرسازه‌ای بوده و میزان زیادی از اعتبارات و بودجه‌های ملی را به خود اختصاص داده است. در این مقاله، به‌صورت موردی به چالش‌ها و فرصت‌های طرح‌های تأمین آب مشهد پرداخته شده و روش منسجمی درجهتِ ارزیابی ریسک ارائه شده است. به همین منظور در بخش اول مقاله، براساس روش بارش افکار، عوامل مخاطره‌آمیز در گزینه‌های تأمین آب مشهد بررسی و متوسط ریسک هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. سپس در بخش دوم، براساس دامنهٔ امکان بروز مخاطرات، ریسک تمام گزینه‌ها محاسبه شده است. نتایج نشان داد، اگرچه کمترین مقدار متوسط ریسک مربوط به گزینهٔ انتقال آب از هزار مسجد می‌باشد؛ اما از دیدِ کارشناسان، گزینهٔ انتقال پساب از غرب مشهد است و دامنهٔ امکان بروز ریسک کمتری را نسبت به سایر گزینه‌ها دارد. در واقع این نتایج نشان می‌دهد، استفاده از دامنهٔ امکان ریسک برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (اتخاذ تصمیمات مدیریتی)، می‌تواند بسیار مفید واقع شود. همچنین، در انتهای مقاله گزینه‌های مختلف براساس پارامتر قیمت تمام شدهٔ پروژه، حجم انتقال آب هر پروژه، ریسک و ضریب بازچرخانی آب مجدداً اولویت‌بندی شده‌اند.

کلید واژگان: دشت مشهد، ریسک، عدم‌قطعیت، تأمین آب.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد a_ghandhari@um.ac.ir
۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسؤول) k.davary@ um.ac.ir
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد bijangh@um.ac.ir

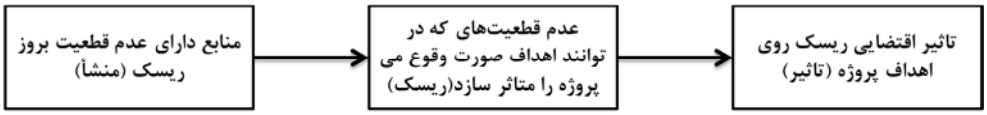
مقدمه

در سال‌های اخیر در بیشتر مناطق دنیا، «پایداری منابع آب»، همزمان با رشد سریع تقاضاهای ناهمگون؛ کاهش عرضهٔ آب؛ مدیریت ضعیف منابع و تخصیص آب، دچار چالش اساسی شده است (WEF, 2015: 2). با توجه به اینکه پایداری سیستم‌های منابع آب، تابع عوامل مختلف اقتصادی- زیست‌محیطی- اجتماعی است؛ بنابراین، در ارزیابی گزینه‌های تأمین آب، بررسی اثرات متقابل پارامترهای مختلف از عوامل فوق و ریسک‌های ناشی از آنها، لازم و ضروری است. بسیاری از پارامترها و ارتباط بین آنها در سیستم‌های مدیریت آب، به‌علت خطا در داده‌برداری، ناکافی بودن اطلاعات، پیچیدگی سیستم‌های آبی و غیره، همراه با عدم‌قطعیت بالا و ریسک فراوان است (McIntyre et al., 2003;6 ; Maqsood et al., 2005;3). همچنین، در مدیریت سیستم‌های منابع آب، دیدگاه‌ها و نگرش‌های متفاوت افراد و درنتیجه بروز عدم‌قطعیت‌های رفتاری افراد مختلف، تصمیم‌گیری را پیچیده کرده؛ چرا که افراد مختلف دارای منافع و خواسته‌های متعدّد بوده و از دیدگاه ایشان اهمیت موضوعات مختلف مدیریت آب متفاوت است (Luyet et al ,2012: 7). درواقع به‌دلیل وجود چنین پیچیدگی‌هایی است که موضوع مدیریت ریسک در این‌گونه مسائل بروز می‌کند. گزینه‌های تأمین آب، به‌علت حساسیت‌های ویژهٔ اجتماعی، فنی و بین‌المللی (به‌ویژه در نواحی مرزی) از پیچیدگی بالایی برخوردار بوده و آیندهٔ مبهمی در پیش رو دارند. در چنین شرایطی بررسی گزینه‌های تأمین آب و انتخاب گزینه(های) برتر، باید با توجه کامل به عدم‌قطعیت‌ها و توأم با ارزیابی ریسک آنها باشد. در حقیقت بدون توجه به ریسک، ممکن است گزینه‌هایی که جذاب به نظر می‌رسند، انتخاب شوند، در حالی که حامل ریسک‌های نهفتهٔ بالایی هستند. همچنین، عدم‌قطعیت منجر به تشدید ریسک‌های گزینه‌های تأمین آب می‌شود و ازاین‌رو نیازمند توجه ویژه است.

تاکنون بیشتر مطالعات در محدودهٔ مسائل مربوط به ریسک، سطحی از احتمالات را مبنای محاسبات قرار داده‌اند. در این پژوهش، برای تعیین احتمال و شدت عواقب سوء، از روش بارش افکار استفاده شده است. نظرات جمعی از کارشناسان خبره و باسابقه، جمع‌آوری و تحلیل شده و سطح اعتماد هر طرح تأمین آب با توجه به متوسط نظرات ایشان محاسبه شده است. همچنین، تلاش شده است تا ریسک‌های گزینه‌های تأمین آب از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

تئوری ارزیابی ریسک

همواره وجود عدم‌قطعیت‌های مختلف باعث بروز حوادث ناگواری می‌شوند که پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع این حوادث بر عهدهٔ مدیران است. برای درک وقوع این حوادث، در درجهٔ اول مدیران باید عوامل بالقوهٔ بروز مخاطرات را درک کنند. هنگامی که مخاطرات با سطح بالایی از ریسک شناسایی شد، لازم است برنامه‌های مدیریت ریسک برای کاهش خسارات محتمل از هر طریق (پیشگیری، آمادگی، پاسخ و اقدامات بهبودی) طراحی و اجرا شود (قندهاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۵)؛ بنابراین، اولین گام شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها می‌باشد. درصورتی‌که ریسک‌ها به‌درستی شناسایی و ارزیابی نشوند، اعتبار فرایند مدیریت ریسک خدشه‌دار خواهد شد، چرا که درحقیقت برآورد واقعی از ریسک‌های پروژه نداشته و نخواهد توانست آن‌ها را مدیریت کند. ازاین‌رو، لازم است تا در فرایند شناسایی ریسک‌ها به‌نحوی اقدام شود که آنچه واقعاً ریسک نیست، ریسک فرض نشود و بالعکس. در واقع، رایج‌ترین اشتباه در شناسایی ریسک، ناتوانی در تمایز بین منشأ ریسک، ریسک واقعی و تأثیر ریسک است. منشأ بروز ریسک، اتفاق‌های قطعی یا مجموعه‌ای از شرایطی هستند که در پروژه و یا در محیط آن وجود داشته و باعث بروز عدم‌قطعیت می‌شوند. ریسک، عدم‌قطعیت‌هایی هستند که درصورت اتفاق افتادن، اهداف پروژه را متأثر خواهند کرد. اثرات، انحرافات پیش‌بینی نشده در اهداف پروژه هستند که به‌صورت مثبت یا منفی درنتیجهٔ وقوع ریسک بروز خواهند کرد. ارتباط بین منشأ، ریسک و تأثیر در شکل (۱) نشان داده شده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۶).



شکل ۱. تفکیک بین منشأ ریسک، ریسک و تأثیر آن

تهیه و ترسیم: (نظری و همکاران، ۱۳۸۷)

اندازهٔ ریسک، باید با دقت کافی برآورد شود تا ارزیابی ریسک به‌درستی صورت گیرد. در غیر این صورت، این خطر وجود دارد که ریسک‌های واقعی پنهان مانده و یا کوچک انگاشته شوند؛ به‌عنوان مثال، وقایع قطعی (با عدم‌قطعیت ناچیز) و یا وقایعی که اهداف پروژه را متأثر نمی‌کنند، نباید به‌عنوان ریسک در نظر گرفته شوند. عموماً براساس مطالعات گذشته، روش‌های تحلیل و ارزیابی ریسک را می‌توان براساس دو نگرش تقسیم‌بندی کرد: ۱- روش‌های گذشته‌نگر و آینده‌نگر؛ ۲- روش‌های تحلیل جعبهٔ سفید و جعبهٔ سیاه. روش‌های گذشته‌نگر (Retrospective) به‌دنبال کشف ریشهٔ حوادث ناهنجار و متضاد در گذشته می‌باشند. هدف اصلی در این روش، مشخص کردن علت وقوع حوادث ناخوشایند است. در این روش، مقصر و یا مسئول حوادث ناخوشایند معلوم می‌شود و از تکرار این‌گونه اتفاقات جلوگیری می‌کند (USGS,2000:28). مدل «تحلیلی ریشه‌یابی علّی» (Root Cause Analysis) که کاربرد آن برای محیط‌های پیچیده توصیه می‌شود، از این نوع می‌باشد. رویکرد اساسی در این مدل، شناسایی سلسله‌وقایعی است که در امتداد یکدیگر منجر به پیامدهای ناخوشایند می‌شوند. مشکل اصلی این مدل در آن است که صرفاً بر وقایع مشخصی که پیامد را رقم زده‌اند، تمرکز کرده و از توجه به دیگر سناریوهای محتمل، غفلت می‌شود. همچنین، مدل مزبور راه‌های کاهش ریسک را نشان نمی‌دهد (Germain et al, 2008: 201). روش‌های آینده‌نگر (Prospective) برای ارزیابی و تحلیل ریسک از روش‌های گذشته‌نگر مفیدتر هستند. از جملهٔ این مدل‌های آینده‌نگر عبارت‌اند از: ۱- مدل تحلیل مخاطرات و نقاط کنترل بحرانی (HACCP[1]) (Griffith et al, 2005; 3; Davison et al, 2005; 5 ; Dominguez-Chicas and Scrimshaw,2010;13; Yokoi et al. , 2006;4; Jayarante ,2008)؛ ۲- مدل شکست و تحلیل اثر (FMEA[2]) (Dominguez-Chicas and Scrimshaw, 2010;12)؛ ۳- مدل تحلیل درخت خطا (FTA[3]) (Hong et al., 2009; 7). در این میان، مدل‌های ارزیابی احتمالاتی از قبیل درخت واقعه (ETA[4]) (Hokstad et al. , 2009;9) نیز می‌توانند به‌عنوان ابزار کمکی برای برآورد بدترین احتمالات شکست مورد استفاده قرار گیرند. در این روش‌ها، عموماً تمرکز بر عوامل ذهنی و انتزاعی کارشناسان است. روش آینده‌نگر، اگرچه نیازمند داده‌های محدودی است، اما جمع‌آوری این داده‌ها (یا استخراج آنها از ذهن کارشناسان) بسیار دشوار و وقت‌گیر است. مزیّت این روش‌ها، افزایش درک اعضای تیم کارشناسی نسبت به وقوع انواع سناریوهای محتمل و ارزیابی نسبتاً جامع اثرات اصلی و جانبی هر سناریو قبل از اتخاذ تصمیمات است. نگرانی اصلی در مورد استفاده از روش‌های آینده‌نگر، دخالت نظر کارشناسی در نحوهٔ کمّی کردن ریسک‌ها و عواقب آن می‌باشد؛ چرا که تخمین صحیح هزینه و منافع پیامدها می‌تواند بسیار دشوار باشد.

از منظر دیگر، تحلیل ریسک به دو دسته تقسیم می‌شود (Ted, 2014;116): الف) روش جعبهٔ سیاه (Black Box Methodology): در این روش، تحلیل توسط شخص باتجربه و مجرّب انجام می‌شود. وی

1. Hazard analysis and critical control points
2. Failu re mode and effects analysis
3. Fault tree analysis
4. Event tree analysis

براساس تجربهٔ خود و آشنایی با پروژه، ریسک آن را تخمین می‌زند؛ بنابراین، تخمین ریسک، متّکی بر تجربهٔ کارشناسی بوده و محاسبات مشخصی ندارد (Tanaka & Guo,1999;2 ,Tanaka et al, 2000 Guo,1999;2)؛ ب) روش جعبهٔ سفید (White Box Methodology): در این روش‌ها برای هر پروژه، ریسک‌ها محاسبه می‌شوند.

مفهوم ریسک، ارتباط تنگاتنگی با مفهوم عدم‌قطعیت دارد. در این پژوهش، عدم‌قطعیت معادل ناتوانی در برآورد دقیق کمّیت‌ها (پارامترها و متغیّرهای سیستم) در نظر گرفته شده است. پنج منشأ برای عدم‌قطعیت‌ها در پروژه‌های مهندسی آب شناسایی شده‌اند (Mays & Tung, 1992;6): ۱- عدم‌قطعیت طبیعی: مربوط به ماهیت تصادفی فرایندهای طبیعی و تغییرات زمانی و مکانی ذاتی این فرایندها؛ برای مثال، مقدار واقعی یا دقیق شدت متوسط بارش در سطح یک حوضه به‌هیچ‌وجه قابل پیش‌بینی و اندازه‌گیری نیست؛ ۲- عدم‌قطعیت طراحی: ضعف مدل در شبیه‌سازی یا طراحی دقیق یک فرایند فیزیکی در طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی آب؛ ۳- عدم‌قطعیت پارامترها: به‌دلیل واریانس (تغییرپذیری مکانی یا زمانی) بالا و محدودیت مالی و زمانی در اندازه‌گیری آنها، پارامترهای سیستم معمولاً دارای عدم‌قطعیت هستند؛ ۴- عدم‌قطعیت داده‌ها: یعنی بی‌دقتی در اندازه‌گیری ناشی از ناکافی بودن اندازه‌گیری‌ها و خطاهای به‌وجود آمده در حین مرتب کردن و انتقال داده‌ها؛ ۵- عدم‌قطعیت بهره‌برداری: که درنتیجهٔ فرسودگی (تغییرات در زمان)، انحراف آیندهٔ وقوع یافته از پیش‌بینی شده (جمعیت برآورد شده، تغییر اقلیم و ...). به‌منظور کمّیت بخشیدن به عدم‌قطعیت‌ها، نظرات کارشناسان خبره مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است؛ یعنی متوسط و دامنهٔ نظرات کارشناسی در نظر گرفته شده است. درواقع برای برآورد ریسک‌های تأمین آب مشهد، مسائل و چالش‌ها و فرصت‌های هر پروژه در جلسات بارش، افکار جداگانه مورد کنکاش قرار گرفته و برای این امر به‌طور متوسط برای هر پروژه، ۶ ساعت به روش بارش افکار وقت صرف شده است.

مواد وروش‌ها

گزینه‌های موجود و ممکن (در حال بررسی) تأمین آب مشهد شامل شش مورد می‌شود. در حال حاضر، سه گزینهٔ «برداشت از آبخوان»، «استفاده مجدد از پساب» و «انتقال آب از سد دوستی» در حال بهره‌برداری هستند. همچنین سه گزینهٔ دیگر در دست بررسی است. جدول (۱) شرح مختصری از هر گزینه را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. شرح مختصری از گزینه‌های محتمل تأمین آب مشهد

	عنوان گزینه	شرح/ وضعیت	حجم تأمین سالانه (mcm)	زمان احتمالی بهره‌برداری
۱	آب زیرزمینی	• برداشت از آبخوان محدودهٔ مطالعاتی مشهد که در حال حاضر تحت تنش است. • نیازمند کاهش برداشت برای احیاء آبخوان	۶۰۰	درحال بهره‌برداری
۲	سد دوستی	• دچار تنش در بهره‌برداری با افغان‌ها	۱۵۰	درحال بهره‌برداری
۳	جایگزینی پساب	✓ درصد زیادی از آب استفاده شده در مشهد هنوز جمع‌آوری یا تصفیه نمی‌شود.	اکنون 34 درصد	درحال بهره‌برداری بدون تخصیص صحیح
		✓ پساب تصفیه شده در رودخانهٔ رها شده (و جایگزین برداشت از آب زیرزمینی نشده است)	در آینده قابل توسعه تا ۷۰٪ مصارف شهری (تابع توسعهٔ شهری)	تا ۱۴۲۰ به‌تدریج افزایش می‌یابد.
۴	هزار مسجد	• استفاده از رودهای منطقهٔ کلات و منابع سازندی • امکان افزایش تعارضات با ترکمنستان	56/8	۷ تا ۱۲ سال آتی

۵	دریای عمان	انتقال با مسافت زیاد	۱۵۷ – ۲۲۰	تقریباً ۱۴۳۰
۶	تاجیکستان (مسیرهای مختلف)	کاهش قدرت سیاسی ایران در منطقه به‌لحاظ وابستگی شدید به آب‌های خارج از مرز	۱۰۰۰	۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) نمایش داده شده و سپس روش به‌کار بسته شده در هر قسمت تشریح شده است.

شکل ۲. چارچوب تحقیق
تهیه و ترسیم: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

الف) چالش‌های تأمین آب مشهد مرتبط با هر گزینه، در جلسات بارش افکار (Brain Storming) با حضور حداقل ۱۰ نفر از کارشناسان ارشد آب منطقه‌ای خراسان رضوی و در قالب ۱۴۴ نفر- ساعت کار جمعی، شناسایی شد. برای شناسایی تمامی چالش‌های مرتبط با گزینه‌های تأمین آب مشهد، براساس مدل PEST-ICDF[1] جدول (۲) منطبق بر منشأ ریسک‌های متصوّر تنظیم شده است. سپس با توجه به اینکه «تأمین آب مشهد» هدف گزینه‌های فوق‌الذکر است، کلیهٔ چالش‌ها و فرصت‌ها از منظر داشتن اثرات منفی و مثبت احتمالی بر روی هدف مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت تأیید ریسک تلقی شده است. منشأ بروز ریسک‌های «تأمین آب مشهد» عبارتاند از:

جدول ۲. منابع بروز عدم‌قطعیت براساس مدل PEST-ICDF

نوع ریسک	شرح
روابط بین‌الملل (International)	منظور مخاطراتی است که از این منشأ وقوع یافته و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌شوند. نوع رابطه با کشوری(هایی) که در مسیر انتقال آب قرار دارند، بر حجم یا قطع و وصل جریان آب به ایران تأثیر دارد؛ بنابراین فقط گزینه‌های مرزی و برون‌مرزی در معرض این مخاطره هستند. انواع روابط بین‌الملل عبارت‌اند از: «حسن همجواری»، «همکاری» و «رقابت».
مالی (Financial)	منظور مخاطراتی است که به‌دلیل عدم‌تأمین (به موقع یا کافی) منابع مالی وقوع یافته و موجب اختلال در تأمین آب مشهد می‌شوند. منشأ تأمین مالی چه منابع بخش خصوصی و چه منابع عمومی باشد، تأخیر یا کاهش در تأمین منابع مورد نیاز گزینه‌ها موجب اخلال در دستیابی به هدف خواهد شد.
تغییر اقلیم (Climate change)	تغییر اقلیم می‌تواند منشأ مخاطراتی برای تأمین آب مشهد در بیشتر گزینه‌ها (به‌جز جایگزینی پساب و دریای عمان) باشد.
انتقال (Transfer)	مسیر طولانی انتقال آب به خودی خود منشأ مخاطراتی ازجمله صعوبت ساخت، هزینهٔ بالا، پیچیدگی عملیات بهره برداری و نگهداری و ... است. همچنین، امکان قطع جریان به‌دلیل فنّی، طبیعی (زلزله و ...) و انسانی در مسیر انتقال وجود دارد.
اجتماعی (Social)	تعارضات قومی و منطقه‌ای نیز می‌توانند منشأ مخاطرات و اثرات منفی بر تأمین آب مشهد باشند.
توسعهٔ بالادست (Development)	توسعهٔ آتی در مبدأ تأمین آب و یا در مسیر انتقال آب می‌تواند در آینده موجبات اختلال تأمین آب مشهد شود.
زیست‌محیطی (Environmental)	محدودیت‌ها و چالش‌های زیست‌محیطی در مبدأ و یا مسیر انتقال می‌توانند اجرای گزینه‌ها را با مشکلات جدی و لاینحل روبه‌رو کنند و ازاین‌رو تأمین آب مشهد را با اختلال مواجه سازند.
سیاسی (Political)	رقابت سیاسی میان مراجع مختلف تصمیم‌گیری شهرستانی، استانی و ملی می‌تواند منجر به ناهماهنگی میان ایشان و کُند یا متوقف شدن اجرای گزینه‌ها می‌شود (استانداری‌ها، مدیران استانی و شهرستانی، نمایندگان مجلس و ...)

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

1.Political- Environmental- Social- Transfer-
International- Financial- Climate change- Development

ب) مخاطرات و ریسک‌های هر گزینه از نتایج جلسات بارش افکار استخراج شده و براساس نتایج پرسش‌نامه، اولویت بروز هر کدام از مخاطرات ذیل هر گزینه مشخص شد. این اولویت‌بندی معیاری برای تعیین وزن مخاطرات شناسایی شده نیز، خواهد بود (جدول ۳). در این قسمت، پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها به‌منظور بررسی میزان اتفاق‌نظر خبرگان و درصورت لزوم حذف و یا نظرسنجی مجدّد، ضریب همبستگی داخلی (ICC) محاسبه شده است. با توجه به اینکه مقادیر آلفای کرونباخ از نظرسنجی به‌دست می‌آید؛ اگر این مقدار بیش از ۰/۷ باشد، همبستگی و توافق مناسب بین نظرات خبرگان نشان می‌دهد، اگر مقدار آلفا بین ۰/۷ و ۰/۵ باشد، بیانگر توافق متوسط و اگر کمتر از ۰/۵باشد، همبستگی و توافق ضعیف نظرات را نشان می‌دهد که در این حالت و درصورت لزوم، نظرسنجی مجدّد انجام می‌شود (Bayazidi et al, 2012:6).

جدول ۳. مهمترین ریسک گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

عنوان گزینه			
انتقال پساب	**انتقال آب از هزار مسجد**	**انتقال آب از عمان**	**انتقال آب از تاجیکستان**
زیست‌محیطی	انتقال	مالی	روابط بین‌المللی
اجتماعی	تغییر اقلیم	انتقال	مالی
مالی	روابط بین‌المللی	اجتماعی	تغییر اقلیم
انتقال	مالی	سیاسی	انتقال
سیاسی	اجتماعی	زیست‌محیطی	اجتماعی
	زیست‌محیطی	توسعهٔ بالادست (احتمال کاهش استحصال)	توسعهٔ بالادست (احتمال کاهش استحصال)
	توسعهٔ بالادست (احتمال کاهش استحصال)		زیست‌محیطی

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

پ) در این مرحلهٔ ارزیابی ریسک (شدت و احتمال وقوع هرکدام از مخاطرات) براساس نظرات کارشناسان انجام گرفته و نتایج در قالب مدل شبیه‌سازی ارائه شده است. سپس، عدم‌قطعیت مخاطرات مبتنی بر ارزیابی دامنهٔ تغییرات (انحراف معیار) نمایش داده شده است.

ت) معادلهٔ تبیین ریسک در شکل عمومی به شرح (۱ تا ۳) است:

$$\text{ریسک} = \{\text{آسیب‌پذیری}^{1} * \text{در معرض بودن}^{2} * \text{مخاطره}^{3}\} \Rightarrow R = H \times E \times V \quad (۱)$$

$$\text{مخاطره} = \text{احتمال} * \text{شدت} \Rightarrow H = f(Probability, Severity) \quad (۲)$$

$$R = f(Probability, Severity) \times E \times V \quad (۳)$$

1. Vulnerability
2. Exposure
3. Hazard

در این مطالعه مقادیر آسیب‌پذیری و در معرض بودن برابر یک فرض شده است؛ بنابراین، ریسک مورد نظر صرفاً متناظر با مخاطرات است؛ یعنی $H = P \times S$ ریسکی است که از یک منشأ غیر از پروژه صادر و اثرات منفی آن بر پروژه وارد می‌شود. در ادامه روش محاسبهٔ ریسک شرح داده شده است.

د) با توجه به ریسک، قیمت و دبی تأمین شدنی، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین، به‌منظور فراهم آوردن امکان مقایسهٔ کلی گزینه‌ها از یک شاخص ترکیبی (رابطهٔ ۴) به شرح زیر استفاده شده است. در این شاخص، عوامل مطلوب در صورت کسر و عوامل نامطلوب در مخرج کسر قرار داده شده‌اند.

$$\left(\frac{Q \times \omega}{C \times R}\right) \qquad (۴)$$

در این معادله، R مربوط به ریسک فنی گزینه (برحسبِ ۰ تا ۱۰۰٪)، C هزینهٔ احداث پروژه (برحسبِ هزار میلیارد ریال)، Q میزان دبی ورودی ناشی از گزینهٔ تأمین آب به مشهد (برحسبِ میلیارد متر مکعب) است و ضریب امگا (ω) مربوط به میزان بازچرخانی آب در حوضه است. این ضریب برای آب وارداتی به حوضه برابر ۱/۷ انتخاب شده است. در واقع از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه بوده و پس از مصرف شهری ۷۰٪ درصد آب برگشتی را تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) به‌دست آمده است. برای آب استحصال شده از منابع زیرزمینی با توجه به میزان آب برگشتی، این ضریب معادل ۰/۷ برآورد گشته است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. یادآوری می‌شود، برگشت مصارف خانگی از طریق چاه جذبی به منابع آب زیرزمینی منجر به رشد آلودگی این منابع می‌شود. در این صورت، برای کنترل آلودگی‌ها لازم است مقداری آب آلوده از انتهای حوضه تخلیه شود. تصفیهٔ فاضلاب می‌تواند باعث کاهش جریان خروجی حوضه شود و بر همین اساس، مزیت پساب برآورد شده است.

ارزیابی ریسک

در مطالعات رایج معمولاً ریسک به‌صورت یک عدد نمایش داده می‌شود؛ اما آنچه مسلّم است، در مورد ریسک باید تمام حالات از بدبینانه‌ترین حالت تا خوشبینانه‌ترین حالت در نظر گرفته شود؛ به عبارت دیگر، خود ریسک که ناشی از پدیده‌های متعدّد تصادفی با دامنه‌های گسترده‌ای می‌باشد، دارای دامنه‌ای از عدم‌قطعیت است. این عدم‌قطعیت با توجه به نظرات کارشناسان، با قبول اینکه امکان حذف هیچ‌یک از نظرات وجود ندارد، به‌دست می‌آید. مقادیر متوسط احتمال و شدت هر مخاطره برای هر گزینه برابر با میانگین مقادیر کسب شده از کارشناسان است. همچنین، عدم‌قطعیت‌های مربوط به هر مخاطره (دامنه‌های شدت و احتمال آن) با فرض تبعیت آنها از توزیع احتمالاتی در سطح مورد نظر (مثلاً $\alpha = 1\%$) قابل محاسبه است. در این پژوهش، عدم‌قطعیت ریسک با احتساب ۹۹ درصد از دامنهٔ احتمال و شدت (براساس نظرات کارشناسان)، شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث

در این قسمت، مطابق چارچوب مطالعه (شکل ۲)، نتایج ارائه شده‌اند. ابتدا نتایج بررسی چالش‌ها و فرصت‌های گزینه‌ها و تعیین نوع ریسک، سپس نتایج ارزیابی ریسک و در انتها اولویت گزینه‌ها بررسی و ارائه شده است.

چالش‌ها و فرصت‌ها

با توجه به جدول (۱)، اگرچه استفاده از منابع آبی محدودهٔ مشهد در سطح فعلی و یا کمتر از آن (با هدف تعادل‌بخشی آبخوان) ادامه خواهد یافت؛ اما این منبع در حال زوال نمی‌تواند جزئی از گزینه‌های توسعهٔ منابع آب این منطقه در آینده باشد. ازآنجاکه این مطالعه به‌دنبال تعیین اولویت گزینه‌های نو و محتمل (برای سرمایه‌گذاری) است؛ بنابراین سد دوستی (که قبلاً سرمایه‌گذاری آن انجام یافته) از فهرست موارد مقایسه حذف می شود. در ادامه مختصری دربارهٔ

گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد و نتایج جلسات بارش افکار (چالش‌ها و فرصت‌ها) برای هر گزینه به تفکیک ارائه شده است:

- **انتقال آب از شمال کوه‌های هزار مسجد**

این گزینه، بدین لحاظ حائز اهمیت است که مانع خروج آب از کشور می‌شود. اگرچه تاکنون طرح‌های زیادی برای جلوگیری از خروج آب در این مناطق پیشنهاد شده؛ اما به‌دلیل نبود ساختگاه مناسب برای احداث سدهای مخزنی بسیاری از پروژه‌ها به مرحلهٔ اجرا نرسیده‌اند؛ بنابراین، با اطمینان مناسبی می‌توان گفت که تنها راه جلوگیری از خروج آب از کشور و استفادهٔ بهینه از منابع آب رودخانه‌های مورد مطالعه، پس از تأمین نیازهای حوضه‌های مبدأ (کمبود آب تابستانه)، انتقال آب به حوضهٔ مشهد است.

- **انتقال آب از دریای عمان**

انتقال آب از دریای عمان در حال حاضر به‌عنوان طرحی امکان‌پذیر از طرف وزارت نیرو تحت بررسی می‌باشد. این گزینه با توجه به طول خط، حجم عظیم سرمایه‌گذاری، زمان اجرا و ... با چالش‌های زیادی روبه‌رو می‌باشد.

- **جایگزینی پساب**

با کاهش امیدها به تأمین آب شرب مشهد از سد دوستی و همچنین افت بیش از حد سطح آب زیرزمینی دشت مشهد، گزینهٔ «جایگزینی پساب تصفیه‌شده با آب کشاورزی برای تأمین آب شرب شهر مشهد» پررنگ‌تر شده است.

- **تاجیکستان**

گزینهٔ انتقال آب از خارج کشور، از گزینه‌های جدّی در دست مطالعه وزارت نیرو می‌باشد که شامل کشورهای افغانستان، ترکمنستان و تاجیکستان است.گزینهٔ اول، تأمین آب از رودخانه پنج در مرز تاجیکستان و افغانستان و انتقال آب از طریق افغانستان بوده، می‌توان با ایجاد خط انتقال به طول ۹۰۰ کیلومتر تا تایباد، یک میلیارد مترمکعب آب به کشور انتقال داد. گزینهٔ دوم، احداث سد روی رودخانهٔ مرغاب در افغانستان و انتقال آب از آن سد که می‌توان سالیانه ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب به کشور انتقال داد. گزینهٔ پیشنهادی سوم، به‌صورت تأمین و انتقال آب از طریق ترکمنستان و کانال قره‌قوم می‌باشد. در جدول (۴) فهرستی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد به‌صورت خلاصه ذکر شده است.

جدول ۴. چالش‌ها و فرصت‌های گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد

چالش/ فرصت	عمان	تاجیکستان	پساب	هزار مسجد
تأسیسات آبی ایجاد شده در منطقه (مرزی بودن)		*		*
ابهام در مصارف آینده منطقه و وجود مسائل اجتماعی در منطقه برای انتقال آب	*	*	*	*
احتمال دخالت‌های سیاسی سایر کشورها		*		
احتمال عواقب سوء کیفی در اثر نفوذ عمقی یا تغذیهٔ مستقیم پساب به آبخوان			*	
استفادهٔ چندمنظوره از تونل (راه و ترابری درگز- قوچان، انتقال آب، ...)				*
افزایش ریسک امنیتی پروژه با افزایش طول و ارزش پروژه و تقسیم پروژه (دبی بالا طمع خرابکاران را تحریک می‌کند)	*	*		*
امکان جذب سرمایه‌های بین‌المللی و بخش خصوصی در افغانستان منجر به توسعه و رشد مصارف آب		*		
ایجاد امنیت آبی نسبی در شرق کشور	*	*		*
ایجاد بسترهای توسعهٔ مراودات سیاسی و اقتصادی با کشورهای مسیر		*		
ایجاد فضای بی‌اعتمادی به آب منطقه‌ای به‌دلیل ایجاد درآمد از پساب			*	

آسیب‌پذیری تأسیسات از منظر پدافند غیرعامل	❊	❊		❊
بازچرخانی پساب و استفاده از پروفیل خاک برای تصفیهٔ اولیه پساب			❊	
بالا بردن امنیت مناطق مرزی با حفظ مراکز جمعیتی	❊	❊		❊
بالا بودن هزینه‌های انتقال و نگهداری نسبت به حجم تأمین آب	❊		❊	❊
بروز مشکلات اجتماعی	❊	❊	❊	❊
تأسیسات آبی ایجاد شده در منطقه (حمایت‌های سیاسی)	❊			
تخصیص حداکثری از منابع آب زیرزمینی خروجی از مرز، به‌منظور بهینه نمودن استفاده از منابع آب سطحی				❊
تروریسم	❊	❊		❊
تغییر اقلیم بر آب‌دهی رودخانه‌ها		❊		❊
تقویت آب‌خوان دشت (استفاده از پتانسیل سیستم بازچرخانی آب در مشهد)	❊	❊		❊
تهدید تمرکز جمعیتی در مسیر انتقال آب	❊	❊		❊
تهدید طبیعی (مانند سونامی) آب‌شیرین‌کن‌ها با توجه به کنار دریا بودن	❊			
جنگ داخلی و ناامنی نسبی در حوضه‌های مبدأ		❊		
درخواست و اعمال فشار برای تغییر مسیر پروژه	❊			❊
رقابت بین استان‌ها و مدیریت بهره‌برداری بین استانی و احتمال سیر نزولی تأمین آب با توجه به افزایش نیازها در مسیر انتقال	❊			
ریسک زیست‌محیطی بین‌المللی (شوری دریا)	❊			
احتمال عدم‌تأمین اعتبار از بخش خصوصی سرمایه‌گذارهای بخش خصوصی	❊		❊	
شرایط خاص استفاده از پساب برای کشاورزی (تناسب پساب با آبیاری محصولات معین)			❊	
شرایط سخت نگهداری از پروژه‌ها	❊	❊		
شرایط مناسب استفاده آب و هوای مناسب منطقهٔ شمالی هزارمسجد (شرایط ویژهٔ توسعه گردشگری طبیعت و ایجاد فرصت سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های آبی)				❊
صعوبت استحصال آب از سازندهای کارستی به‌دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی سازند سخت و نحوهٔ استحصال آب				❊
طول زیاد خط و تعداد ایستگاه‌ها و ریسک خرابی (فنی، زلزله و ...) + (تأخیر در ساخت)	❊	❊		
عدم‌امکان مدیریت توسعهٔ ناهمگون و ا افزایش انتظارات با ورود آب (به جای کنترل بحران، توسعه ادامه می‌یابد)	❊	❊	❊	❊
عدم‌پذیرش پساب به‌لحاظ فرهنگی			❊	
بی‌ثباتی در سیاست خارجی کشورهای حوضه مبدأ (عدم‌توافق در ساخت، ناتوانی حفاظت در انتقال)		❊		
بی‌نیازی به شیرین‌سازی (کاهش هزینه‌های جاری و کاهش احتمال مقابلهٔ گروه‌های محیط‌زیستی)		❊		❊
فرصت و مزیّت داخلی بودن این آب و عدم‌وجود معارض (عدم‌وابستگی به سایر کشورها به‌لحاظ تأمین آب)	❊		❊	
فرصت چانه‌زنی با سایر تأمین‌کنندگان احتمالی آب (ترکمنستان، افغانستان و ...)	❊			
قابلیّت تأمین آب شهرهای مسیر خط انتقال و جلب مشارکت آنها (توجیه‌پذیری و اخذ تصویب)	❊			
کاهش چالش‌های اجتماعی در جنوب شرق و شرق کشور با توجه به حجم سرمایه‌گذاری	❊			
کاهش قدرت ایران در منطقه		❊		
کشاورزی سنتی و نبود شرایط توسعهٔ سریع در حوضه‌های مبدأ		❊		
کمبود انرژی برق و گاز و ... در حوضه‌های مبدأ: مبادلهٔ آب و انرژی		❊		

مرزی بودن رودخانه‌های منطقه و التزام به سرعت بخشیدن طرح‌های جلوگیری از خروج آب از کشور در مهلت معین				❊
مطالعات دشوار در فاز شناسایی و عدم‌قطعیت‌های فراوان مطالعات				❊
ناامنی نسبی و عدم‌توسعهٔ سریع در این کشورها (کند شدن آهنگ توسعهٔ کشور مبدأ)		❊		
نامشخص بودن قیمت آب انتقالی	❊	❊	❊	❊
نیاز به ۱۶ تصفیه‌خانهٔ محلی			❊	
هزینهٔ کمتر از گزینه‌های انتقال از بیرون حوضه			❊	❊
همجواری با مشهد (کوتاهی مسیر انتقال)			❊	❊
وجود برنامه‌های مختلف توسعه توسط سازمان‌های بین‌المللی (پروژهٔ داکار و ...) و تسریع توسعهٔ افغانستان		❊		
وجود رودخانه‌های پرآب و یا آب به‌نسبت فراوان		❊		
وجود گروه‌های محیط زیستی بین‌اللملی درجهتِ توقف پروژه		❊		
وجود مسائل اجتماعی در مسیر برای انتقال آب	❊			❊
وجود مناطق حفاظت‌شده در مسیر انتقال	❊			❊
ورود نمایندگان مجلس به موضوع و اوج‌گیری اختلافات یا تنش‌های سیاسی	❊			❊

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

همان‌طور که گفته شد، براساس ۱۰ جلسهٔ تشکیل شده، نظرات خبرگان با بهره‌مندی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی نظیر تکنیک دلفی و طوفان فکری در قالب شش گروه از مجموعه کارشناسان آب منطقه‌ای (جمعاً ۱۵ نفر) جمع‌آوری شد. گروه خبرگان شامل: «اعضای هیئت مدیره»، «معاونان شرکت و مدیران مرتبط» بودند. پس از آنکه مهمترین چالش یا فرصت‌های محتمل تأمین آب دشت مشهد به شرح جدول (۴) شناسایی و تعیین شد، آنگاه متناسب با هر دسته از چالش‌ها و فرصت، مخاطرات چهار گزینهٔ محتمل، فهرست و اولویت‌بندی شد. در این مرحله، سعی شد تا موارد مشابه حذف یا ادغام شوند. در هر حال، کلیهٔ مخاطرات شناسایی شده مربوط به چهار گزینهٔ تأمین آب، به‌صورت گروه‌های پانزده‌گانه از ریسک به‌صورت ساختار شکست ریسک دسته‌بندی و به‌صورت پرسش‌نامهٔ زیر در اختیار خبرگان حاضر در جلسه قرار گرفت (جدول ۵).

جدول ۵. معرفی پرسش‌نامه

مخاطره	مخاطرات	توضیح
H_1	امکان بروز ناامنی در مبدأ	موارد زیادی نظیر نزدیکی به مرز و ... می‌توانند موجب شکست سیستم تأمین آب مشهد شوند.
H_2	امکان خرابکاری در مسیر انتقال یا در تأسیسات (تروریسم/ پدافند غیرعامل)	عواملی همچون نگهداری و بهره‌برداری و مواردی نظیر آن می‌توانند سیستم تأمین آب مشهد را دچار مشکل نمایند.
H_3	امکان بروز مخالف از طرف NGOهای زیست‌محیطی	طرفداران محیط زیست می‌توانند مانع انجام پروژه شوند.
H_4	امکان عدم‌تأمین مالی برحسبِ برنامه	عدم تأمین منابع مالی معمولاً تابعی از بزرگی پروژه و سرمایهٔ مورد نیاز است.
H_5	امکان کاهش تأمین آب مشهد به‌دلیل توسعهٔ بالادست	منظور توسعه در مبدأ یا در مسیر است.
H_6	روابط بین‌الملل	منظور پیشرانه‌های اقتصادی داخل افغانستان، دخالت سایر کشورها، توازن متقابل خواهد بود.
H_7	تغییرات اقلیمی (تغییر رژیم سیر دریا/ آمودریا)	تغییرات اقلیم به احتمال زیاد منجر به کاهش تأمین آب مشهد می‌شود و به‌طور خاص ممکن است تا ۵۰ سال بعد یخچال‌های هیمالیا آب شود.

H_8	افزایش تخصیص با تعیین حقابه ثابت	افزایش حقابه، بدون توجه به رژیم طبیعی منبع آب، نواسانات آب و هوایی و سناریوهای توسعه
H_9	بروز مشکلات اجتماعی در مخالفت با تأمین آب مشهد	مشکلات اجتماعی ناشی از بی‌اعتمادی به مسئولان یا رقابت سایر شهرستان‌ها با مشهد
H_{10}	تأثیرات مخرّب زیست‌محیطی یا آلودگی منابع آب	عبور از مناطق حفاظت شده و محدودیت‌های قانونی
H_{11}	عدم‌پذیریش جایگزین پساب به‌دلیل فرهنگی	این گزینه ویژهٔ پساب است
H_{12}	پیچیدگی مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از منابع کارست	این گزینه ویژهٔ هزار مسجد است
H_{13}	رقابت سیاسی در مسیر انتقال منتج به کاهش سهم مشهد	
H_{14}	امکان بروز مشکلات فنی در مسیر انتقال و تأسیسات استحصال	خرابی پمپ، زلزله، قطع برق، سونامی در حاشیهٔ راه و ...
H_{15}	هزینه‌های اجتماعی برای جلب رضایت ساکنان مبدأ و مسیر	

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

این جدول به همراه پرسش‌نامه به اعضاء حاضر در جلسه تحویل داده شد تا پاسخ‌دهندگان نسبت به پرسش‌ها از آگاهی کافی برخوردار شوند. با این حال، روایی پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

کنترل روایی پرسش‌نامه

پس از تجمیع پرسشنامه‌ها، به‌منظور بررسی میزان توافق نظرات خبرگان در رابطه با هر مخاطره، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ضریب آلفای کرونباخ به‌ازای هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. ضریب آلفای کرونباخ به‌عنوان یکی از ضرایب روایی یا قابلیت اعتماد شناخته شده است. این ضریب از عمومی‌ترین ضرایبی است که توسط پژوهشگران علوم اجتماعی برای سنجش روایی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلفای کرونباخ به‌طورکلی با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود (Cronbach & Shavelson, 2004:8):

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{\sigma^2}\right) \qquad (۵)$$

که در این روابط k تعداد سؤالات، S_i^2 واریانس سؤال i ام، σ^2 واریانس مجموع کلی سؤالات می‌باشند. نتایج مقدار آلفای کرونباخ برای هر کدام از گزینه‌ها بین ۰/۷ و ۰/۹ به‌دست آمد و همبستگی و توافق مناسب بین نظرات خبرگان را نشان می‌دهد. نتایج نظرسنجی براساس صحت پرسش‌نامه و همچنین داده‌های مورد استفاد برای هر گزینه به شرح جدول (۶) ذکر شده است.

جدول ۶. بررسی روایی پرسش‌نامه با آلفای کرونباخ برای چهار گزینهٔ تأمین آب مشهد

گزینه	هزار مسجد	پساب	تاجیکستان	عمان
مقدار آلفای کرونباخ	۰,۷۴	۰,۷۳۶	۰,۸۳	۰,۷۵

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

نتایج پرسش‌نامه

همان‌طور که ذکر شد، مرحلهٔ اول این تحقیق شامل شناسایی کیفی مخاطرات و تولید مجموعه‌ای از داده‌های کارشناسی (اطلاعات خام ذهنی) در مورد احتمال و اثر بروز مخاطرات بر روی گزینه‌های تأمین آب دشت مشهد است. در این مرحله، به‌صورت مستقیم از فاکتورهای در معرض قرارگیری (Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) برای تعدیل اثر شدت و احتمال وقوع ناشی از هر مخاطره

استفاده نشده است؛ زیرا خبرگان براساس یادگیری جمعی (Social Learning) خود از جلسات بارش افکار به‌صورت ذهنی به میزانی که در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری هر گزینهٔ ناشی از مخاطرات باشند، آگاهی نسبی می‌یابند (Pipattanapiwong, 2004). در واقع برای ارزیابی ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد، دو عامل احتمال (Probability) و شدت اثر (Severity) متأثر از دو فاکتور در معرض قرارگیری (Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) می‌باشند (جدول ۷). با این حال و به‌جهت اعمال دقیق‌تر دو فاکتور مذکور از ضریب وزنی براساس دبی آب انتقال داده شده به مشهد و شکستی که به سیستم تأمین آب مشهد وارد می‌شود، در محاسبات لحاظ شده است. به عبارت دیگر، براساس میزان شدت اثر هر مخاطره بر شکست پروژه، مجموع درجات آسیب‌پذیری آن مخاطره نیز بین ۱ تا ۵ متغیّر است. در واقع آسیب‌پذیری اشاره به ناتوانی یک سیستم یا یک واحد در برابر اثرات یک محیط خصمانه دارد (Turner,2010)؛ بنابراین برای محاسبهٔ احتمال وقوع و شدت متوسط هر مخاطره، مجموع نظرات خبرگان دربارهٔ احتمال وقوع و اثر هر کدام از مخاطرات بر تعداد نظرات شرکت‌کنندگان تقسیم شده است و احتمال و شدت متوسط آنها به‌دست آمده است. در انتها برای محاسبهٔ ریسک متوسط هر گزینه، از روش میانگین وزنی استفاده شده است؛ یعنی براساس درجهٔ آسیب‌پذیری پروژهٔ ناشی از مخاطرات، به هر مخاطره وزن یا ارزش معینی تعلق گرفته است. آنگاه جمع ارقام به‌دست آمده از کل مخاطرات بر وزن کل درجات آسیب‌پذیری تقسیم شده است. براساس سوابق تحقیق، هر گزینه‌ای که کمترین سطح ریسک را دارد، مناسب‌ترین گزینه درجهتِ تأمین آب مشهد خواهد بود؛ بنابراین، ریسک ناشی از گزینهٔ تأمین آب از کوه‌های هزار مسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک (R=6.94) را دارد.

جدول ۷. ساختار شکست ریسک عمومی گزینه‌ها

	عمان			تاجیکستان			پساب			هزار مسجد			وزن
	P	S	R_W	P	S	R_W	P	S	R_W	P	S	R_W	**W**
H_1	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۱۲۵,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۴,۰۰	۲,۰۰	۴۰,۰۰	۵,۰۰
H_2	۴,۲۰	۳,۰۰	۲۵,۲۰	۸,۰۰	۴,۰۰	۶۴,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۴,۵۰	۱,۵۰	۱۳,۵۰	۲,۰۰
H_3	۱,۰۰	۱,۰۰	۳,۵۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۷,۰۰	۳,۰۰	۲,۰۰	۲۱,۰۰	۳,۰۰	۳,۰۰	۳۱,۵۰	۳,۵۰
H_4	۷,۳۰	۴,۰۰	۱۴۶,۰۰	۸,۰۰	۵,۰۰	۲۰۰,۰۰	۵,۵۰	۲,۲۵	۶۱,۸۸	۵,۶۰	۲,۰۰	۵۶,۰۰	۵,۰۰
H_5	۵,۰۰	۵,۰۰	۸۷,۵۰	۵,۷۵	۴,۰۰	۸۰,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۳,۰۰	۱,۰۰	۱۰,۵۰	۳,۵۰
H_6	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۸,۳۰	۶,۰۰	۱۹۹,۲۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۱۲,۰۰	۴,۰۰
H_7	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۳,۰۰	۲,۰۰	۹,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۳,۰۰	۱,۰۰	۴,۵۰	۱,۵۰
H_8	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۵,۰۰	۱,۰۰	۵,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰
H_9	۳,۵۰	۵,۰۰	۸۷,۵۰	۷,۰۰	۶,۰۰	۲۱۰,۰۰	۳,۲۵	۲,۰۰	۳۲,۵۰	۵,۰۰	۱,۰۰	۲۵,۰۰	۵,۰۰
H_{10}	۱,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۴,۵۰	۲,۰۰	۱۸,۰۰	۵,۰۰	۲,۰۰	۲۰,۰۰	۲,۰۰
H_{11}	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۸,۰۰	۳,۰۰	۲۴,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰
H_{12}	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۶,۰۰	۰,۵۰	۳,۰۰	۱,۰۰
H_{13}	۳,۴۰	۳,۷۵	۴۴,۶۳	۸,۰۰	۲,۰۰	۵۶,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۳,۵۰	۳,۵۰
H_{14}	۷,۰۰	۳,۰۰	۳۱,۵۰	۵,۰۰	۵,۰۰	۳۷,۵۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۳,۰۰	۱,۵۰
H_{15}	۶,۶۰	۵,۰۰	۶۶,۰۰	۷,۰۰	۷,۰۰	۹۸,۰۰	۵,۰۰	۲,۰۰	۲۰,۰۰	۶,۲۰	۴,۱۰	۵۰,۸۴	۲,۰۰
جمع	۲۸,۰۰		۴۹۳,۸۳	۳۸,۵۰		۱۰۸۸,۲۰	۲۱,۰۰		۱۸۳,۸۸	۳۹,۵۰		۲۷۳,۳۴	۴۱,۵۰
ریسک متوسط	$\overline{R}$		۱۷,۶۴	$\overline{R}$		۲۸,۲۶	$\overline{R}$		۸,۷۶	$\overline{R}$		۶,۹۲	

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

از آنجا که تمام مخاطرات به‌صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنهٔ ریسک هر پروژه نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. در مرحلهٔ دوم تحقیق، برای به‌دست آوردن دامنهٔ امکان‌پذیر وقوع ریسک گزینه‌های تأمین آب مشهد، عدم‌قطعیت مخاطرات نیز از بدبینانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین حالت مدنظر قرار گرفته است. در مدل تصمیم‌گیری، از رابطهٔ Z استاندارد استفاده شده است؛ یعنی میانگین مقادیر ریسک هر مخاطره از مقدار مخاطرات نظرسنجی شده کم و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود (رابطهٔ ۶):

$$P(\bar{X} - z\sigma_{\bar{x}} \le \mu \le \bar{X} + z\sigma_{\bar{x}}) = 1 - \alpha\% \quad (۶)$$

$\bar{x}_i$ میانگین ریسک هر گزینهٔ تأمین آب و σ_j انحراف معیار مربوط به آن گزینه می‌باشد. با توجه به رابطهٔ فوق، با در نظر گرفتن فاصلهٔ امکان ۹۹٪ برای احتمال و شدت هر مخاطرهٔ حد بالا و پایین ریسک برای تمام گزینه‌ها محاسبه شده است (جدول۸).

جدول ۸. نتایج بررسی فضای امکان ریسک گزینه‌های انتقال آب به مشهد

گزینه انتقال آب	ریسک متوسط (درصد)	Z	انحراف معیار (درصد)	حد بالای ریسک (درصد)	حد پایین ریسک (درصد)
پساب	۸,۷۶	۲,۵۸	۳,۳۲	۱۷,۳۲	۰,۱۹
هزار مسجد	۶,۹۴	۲,۵۸	۵,۲۵	۲۰,۴۸	۰
عمان	۱۷,۶۴	۲,۵۸	۱۲,۰۷	۴۸,۷۸	۰
تاجیکستان	۲۸,۲۶	۲,۵۸	۲۰,۱۲	۸۰,۱۶	۰

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

تعیین اولویت گزینه‌ها

نتایج شبیه‌سازی فضای امکان نشان می‌دهد، گزینهٔ انتقال آب از تاجیکستان، فضای امکان بیشتری به‌لحاظ بروز ریسک دارد و اجرای آن نیز طبیعتاً با ریسک زیادی همراه خواهد بود. در بین سایر گزینه‌ها، پروژهٔ انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد، کمترین مقدار متوسط ریسک را دارد؛ ولی با این حال و به‌لحاظ فضای محتمل بروز ریسک، پروژهٔ انتقال پساب، فضای امکان کوچکتری را نسبت به سایر گزینه‌ها برخوردار است. درنتیجه، گزینهٔ انتقال پساب از غرب مشهد، نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اول اجرا قرار دارد.

پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که برای اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب باید مدنظر قرار گیرند. یکی از این پارامترها، هزینهٔ تمام شدهٔ پروژه است (C). پروژه‌ای که هزینهٔ تمام شدهٔ کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد، سهل‌الوصول تر خواهد بود و گزینه‌های که هزینهٔ نهایی آن بالا باشد، در هنگام اجرا دچار چالش‌های فراوانی خواهد بود. پارامتر بعدی براساس حجم آبی که پروژه به مشهد انتقال خواهد داد (Q)، هرچه میزان آب ورودی به مشهد بیشتر باشد، پروژه از اهمیت بالاتری برخوردار است. همچنین با ترکیب تمام پارامترهای مذکور به‌صورت شاخص ترکیبی، می‌توان درجهتِ اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد. در این رابطه، ضریب آمگا (ω) مربوط به میزان بازچرخانی آب در حوضه است. این ضریب برای آب وارداتی به حوضه برابر ۱/۷ انتخاب شده است. در واقع، از آنجا که استحصال آب از خارج حوضه بوده و پس از مصرف شهری ۷۰٪ آب برگشتی را تولید می‌کند، ضریب مزبور از جمع (۱ + ۰/۷) به‌دست آمده است. همچنین، جایگزینی پساب از دیدگاه مدیریت منابع آب نسبت به استفاده از آب زیرزمینی دارای مزیت ۰/۱ فرض شده است. براساس شاخص مزبور نیز گزینهٔ پساب و سپس گزینهٔ تاجیکستان مناسب‌ترین گزینه خواهد بود.

جدول ۹. اولویت‌بندی گزینه‌های تأمین آب مشهد

اولویت گزینه‌ها	براساس هزینه (C)	براساس حجم (Q)	براساس ریسک (R)	ترکیبی $\left(\frac{Q\times\omega}{C\times R}\right)$
	ارزان (±)	زیاد (±)	کم (±)	بزرگ (±)
۱	انتقال پساب (۰,۸)	تاجیکستان (۱)	هزار مسجد (۶,۹۴)	پساب (۰,۰۲۳)
۲	هزار مسجد (۹,۷)	عمان (۰,۲)	انتقال پساب (۸,۷۶)	هزار مسجد (۰,۰۰۱۴)
۳	عمان (۹۴,۵۶)	هزار مسجد (۰,۰۵۶)	عمان (۱۷,۶۴)	تاجیکستان (۰,۰۰۰۸)
۴	تاجیکستان (۶۷ .۷۰)	انتقال پساب (۰,۲۱)	تاجیکستان (۲۸,۲۶)	عمان (۰,۰۰۰۲)
	گران (±)	کم (±)	زیاد (±)	کوچک (±)

منبع: (قندهاری، ۱۳۹۵)

نتیجه‌گیری

اگرچه تاکنون روش استانداردی برای ارزیابی ریسک ارائه نشده است، اما بیش از ۷۰ نوع روش ارزیابی کمّی و کیفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد. علاوه‌برآن، ریسک همواره به‌صورت ضریبی از احتمال نمایش داده می‌شود. در این مقاله، علاوه‌بر ارائهٔ روشی مرکب از روش‌های کمّی و کیفی درجهتِ ارزیابی ریسک، مفهوم ساده شدهٔ دیگری برای بیان ارتقاء مفهوم ریسک ارائه شده است. اولین روش استفاده شده برای ارزیابی ریسک برمبنای محاسبهٔ سطح متوسط ریسک است. در این روش، به‌وسیلهٔ نظرسنجی از خبرگان، سطح احتمال و شدت اثر مربوط به عدم‌قطعیت‌های هر گزینه استخراج شده است. سپس از مجموع نظرات کلیهٔ خبرگان یک سطح ریسک متوسط برای هر گزینه به‌دست آمده است. مطابق با بررسی این تحقیق، ریسک ناشی از انتقال آب‌های خارج از مرز (انتقال آب از تاجیکستان) با احتمال متوسط (P=0/56) و شدت (S=0/4)، بیشترین سطح ریسک یعنی R=0/28 را دارد. گزینهٔ انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد به‌دلیل نحوه و فصل انتقال آب در ماه‌های سرد و به‌دلیل قرار داشتن در داخل کشور دارای احتمال P=0/38 و شدت I=0/17 خواهد بود که به‌لحاظ سطح متوسط ریسک، دارای کمترین میزان ریسک R=0/069 است. درنتیجه، اگر برای مقایسهٔ گزینه‌ها از متوسط ریسک استفاده کنیم، گزینهٔ انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد مناسب‌ترین گزینه خواهد بود. در روش دوم که برای محاسبهٔ ریسک مورد تأکید است، از بررسی فضای امکان بروز ریسک استفاده شده است. به عبارت دیگر، در روش دوم از خبرگان خواسته شده است تا احتمال، شدت و آسیب‌پذیری هر گزینه در برابر عدم‌قطعیت‌های موجود، بیان کند. از آنجا که تمام مخاطرات به‌صورت بالقوه امکان وقوع دارند، دامنهٔ ریسک هر پروژه نیز مدنظر قرار گرفته است؛ یعنی دامنهٔ امکان‌پذیر وقوع ریسک‌های تأمین آب مشهد، شامل بدبینانه‌ترین تا خوشبینانه‌ترین نظرات کارشناسی مدنظر است. با این حال، گزینهٔ انتقال پساب با کوچکترین فضای امکان ریسک و به تناسب کمترین سطح ریسک نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت اجرا قرار دارد. در انتها، مجدداً چهار گزینهٔ انتقال براساس قیمت تمام شده، حجم آب انتقالی درجهتِ تأمین آب، ریسک گزینه‌ها و ضریب بازچرخانی اولویت‌بندی شده است. سیاست‌گذاران براساس هرکدام از پارامترهای مزبور می‌توانند انتخاب معقولانه داشته باشند.

منابع

قندهاری، احمد. ۱۳۹۵. ارزیابی اعتمادپذیری تامین آب شهر مشهد، پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دپارتمان آب.

قندهاری، احمد. داوری، کامران. عمرانیان خراسانی، حمید (۱۳۹۴). راهنمای چارچوب مدیریت ریسک. نخستین کنگرهٔ ملی آبیاری زهکشی ایران. دانشگاه فردوسی.

نظری، ا؛ فرصت‌کار، ا؛ کیافر، ب (۱۳۸۷). مدیریت ریسک در پروژه‌ها. انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. نشریه ۶۵۹. ۱۰۹/۰۰/۹۷. تهران ۳۲۰ ص.

Bayazidi, B., Oladi, B., Abbasi, N., 2012. The questionnaire data analysis using by SPSS software (PASW) 18, Mehregan, Tehran, in persion.

Cronbach, L. J., & Shavelson R. J. 2004. My Current Thoughts on Coefficient Alpha and Successor Procedures. Educational and Psychological Measurement. 64, 391-418.

Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell L, Deere, D,. 200۵. Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer. Prepared for theGeneva: World Health Organisation; 2005 [WHO/SDE/WSH/05.06].

Dominguez-Chicas, A., Scrimshaw, M,. 2010. Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: an approach for use in developing water safety plans. Water Res 2010;44(2):6115–23.

Germain, D., Cohen, D., Frederick, J. 2008. A Retrospective Look at the Water Resource Management Policies in Nassau County, Long Island, New York,Volume 44, Issue 5, pages 1337–1346, October 2008.

Griffith, C., Obee, P., Cooper, R. 2005. The Clinical Application of Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP). American Journal of Infection Control 33, e39 .

Hokstad, P., Pettersson, T.J.R., Kirchner, D., Niewersch, C., Linde, A., Sturm, S., Røstum, J., Sklet, S., Beuken, R., 2009. Methods for risk analysis of drinking water systems from source to tap - Guidance report on Risk Analysis, Project Funded by the European Commission, Sixth Framework Programme, Sustainable Development, 2009 TECHNEAU.

Hong, E., Lee, I., Shin, H., Nam, S., Kong, J. 2009. Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM, Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 269–277.

Jayarante A. 2008. Application of a risk management system to improve drinking water safety. J Water Health 2008;6(4):547–57.

Luyet, V,. Schlaepfer, R., Parlange, M, B. Buttler, A., 2012 . A framework to implement t Stakeholder participation in environmental projects, Journal of Environmental Management, 111,213-e-219.

Maqsood, I., Huang, G. H. & Yeomans, J. S. 2005. An interval parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management nder uncertainty. Eur. J. Oper. Res. 167 (1), 208–225.

Mays, L.W. and Tung, Y.K. 1992. Hydrosystems engineering and management. McGraw-Hill. Book Co., Singapore.

McIntyre, N., Wagener, T., Wheater, H. S. & Siyu, Z. 2003. Uncertainty and risk in water quality modelling and management. J. Hydroinformat. 5 (4), 259–274.

Pipattanapiwong, J., 2004. Development of multi-party risk and uncertainty management process for an infrastructure project, Doctoral dissertation, Japan, Kochi University of Technology.

Tanka, H. Gue, p. 1999. Theory and Methodology Portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions. European Journal of Operational Research 114 (1999) 115-126.

Tanka, H. Gue, p. Turkesen, B. 2000. Portfolio selection based on fuzzy probabilities and possibility distributions. Fuzzy Sets and Systems 111 (2000) 387-397.

Ted, S. 2014. Environmental Risk Assessment: A Toxicological Approach. CrC Press group. International Standard book Number 13-978-1-4665 - 9829- 4.

Turner B.L. 2010, vullenrability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. Global environrmental change, 20:570-576.

USGS. 2000. A Retrospective Analysis on the Occurrence of Arsenic in Ground-Water Resources of the United States and Limitations in Drinking-Water-Supply Characterizations, Water-Resources Investigations Report 99–4279, Reston, Virginia 2000.

WEF (World Economic Forum), 2015. Insight Report Global Risks 2015, 10th Edition, World Economic Forum, Geneva. Available at: <http://reports.weforum. org/global-risks-2015/> (last checked: 04.04.15).

Yokoi, H., Embutsu, I., Yoda, M,Waseda K,. 2006. Study on the introduction of hazard analysis and critical control point (HACCP) concept of the water quality management in water supply systems. Water Sci Technol 2006;53(4):483–92.

Zhang, X. H., Zhang, H. W., Chen, B., Guo, H. C., Chen, G. Q. & Zhao, B.A. 2009. An inexact-stochastic dual water supply programming model. Commun. Nonlinear Sci. 14, 301–309.

Zilinskas, R. 2005. Assessing the threat of bio terrorism congressional testimony. Center for nonproliferation studies. From http://cns.miis.edu.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی